

بررسی اثرات کاشت تأخیری و قطع آبیاری بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب و عملکرد دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

فاطمه بهادری^۱، احسان بیژن زاده^{۲*}، علی بهجوری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۲. دانشیار گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۳. استادیار گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۰

چکیده

به منظور بررسی کشت تأخیری و رژیم آبیاری بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب و عملکرد دانه گلرنگ، پژوهشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. دو رقم گلرنگ (گلدشت و محلی اصفهان) در یک آزمایش اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی تحت سه رژیم آبیاری (آبیاری مطلوب، قطع آبیاری در دو مرحله‌ی گلدهی و پر شدن دانه) و در سه تاریخ کاشت (۱۵ آذر، ۵ دی و ۲۵ دی) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری در تاریخ کاشت در رقم بر محتوای کلروفیل a و b، کاروتنوئید، فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، محتوای نسبی آب، دمای سایه‌انداز، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت. قطع آبیاری در گلدهی باعث کاهش محتوای کلروفیل a و b، محتوای نسبی آب و عملکرد دانه ارقام گلرنگ به ترتیب به میزان ۲۵، ۱۵/۳۸، ۱۶/۳۶ و ۳۳/۷۴ درصد نسبت به آبیاری مطلوب شد در حالی که محتوای کاروتنوئید، آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و دمای سایه‌انداز را به ترتیب به میزان ۱۴/۷۰، ۲۲، ۲۹/۳۱ و ۲۱/۷۵ افزایش داد. تنش آبی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه باعث کاهش به ترتیب ۵۲/۲۲ و ۳۴/۵۴ درصد عملکرد دانه در رقم محلی اصفهان در تاریخ کاشت دوم (۵ دی) نسبت به تیمار آبیاری مطلوب شد. به نظر می‌رسد گیاه با انجام فعالیت‌های بیوشیمیایی و آنزیمی در زمان وقوع تنش در مرحله پر شدن دانه قادر به جبران بیشتر کاهش عملکرد نسبت به تنش گلدهی شده است. با توجه به اینکه در تاریخ کاشت دوم (۵ دی) افزایش محتوای کلروفیل a و b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب و دمای سایه‌انداز و به دنبال آن عملکرد بیشتری نسبت به دو تاریخ کاشت دیگر مشاهده شد. بنابراین انتخاب تاریخ کاشت بهینه (۵ دی) و رقم زودرس گلدشت می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش آبی آخر فصل در مناطق نیمه‌خشک داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، رقم گلدشت، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاتالاز، قطع آبیاری

مقدمه

تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان در بیشتر نقاط جهان و ایران است (Akbari et al., 2016). در این راستا، معرفی یک گیاه زراعی با پتانسیل صنعتی و متحمل به تنش‌های غیر زیستی در اقلیم گرمسیری سودمند است.

تنش حالتی است که باعث برهم زدن تعادل گیاه شده و بر اثر عوامل زیستی و غیر زیستی ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر تنش عبارت است از قرار گرفتن گیاه تحت تأثیر یک عامل محیطی که آن عامل موجب کاهش عملکرد و یا کیفیت آن گیاه می‌گردد (Jaleel et al., 2009). گیاهان در شرایط طبیعی و زراعی در معرض تنش‌های مختلف قرار دارند که در این بین،

هستند و وظیفه حفظ غشاهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو به‌عهده دارند. کاروتنوئیدها علاوه بر جذب نور و نقش ساختمانی، قادر به غیرفعال کردن مستقیم اکسیژن آزاد هستند به این صورت که انرژی مولکول‌های تهییج شده و آزاد اکسیژن را گرفته و آن را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کنند به این ترتیب باعث حفاظت دستگاه فتوسنتزی از شروع پراکسیداسیون لیپیدی می‌شوند (Amini and Haddad, 2012). گیاهان جهت حذف گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و کاهش اثرات تخریب تنش اکسیداتیو، مسیرهای آنتی-اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی متعددی را فعال می‌کنند. کاتالاز و پراکسیداز، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند که در مسیر پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر بوده که منجر به تسریع تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شوند. تحقیقات نشان دادند که یکی از پیامدهای تنش در گیاهان، وقوع تنش اکسیداتیو به‌واسطه ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال است که لازم است گیاهان جهت ادامه رشد و نمو خود، از تنش اکسیداتیو مصون بمانند (Hasanuzzaman et al., 2013). یکی از روش‌های تعیین انتخاب ارقام مقاوم به خشکی و تشخیص وضعیت تنش آبی در گیاهان زراعی، اندازه‌گیری دمای سایه‌انداز گیاهی به‌وسیله دماسنج مادون‌قرمز است. تنش آبی و دمای سایه‌انداز گیاهی با هم مرتبط هستند، چراکه با محدودیت آب خاک روزنه‌های گیاه بسته‌شده و تعرق که سازوکار خنک‌کننده گیاهان است، کاهش می‌یابد و در نتیجه دمای سایه‌انداز گیاهی بالا می‌رود (Karimzadeh et al., 2013). ارقامی که در شرایط تنش آبی دمای سایه‌انداز گیاهی بیشتری دارند، به‌طور نسبی دارای وضعیت آبی بهتری هستند و در نتیجه مقاوم‌تر می‌باشند. دمای سایه‌انداز گیاهی شاخصی برای شناسایی وضعیت کلی آب گیاه، مقایسه ارقام در استفاده کارا تر از آب و مقاومت به تنش آبی است (Royo et al., 2002). یکی از روش‌های متداول برای تعیین وضعیت گیاه، اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)^۱ است که روشی ساده و مؤثر است که در آن محتوای نسبی آب برگ را بر اساس محتوای آب برگ در حالت تورژانس بیان می‌کند (Blum, 2011). برخی پژوهشگران گزارش کردند ارقام متحمل به تنش کم‌آبی، RWC بیشتری را در شرایط تنش و عدم تنش داشت. در زمان مواجهه گیاه با تنش‌های محیطی، حفظ محتوای نسبی آب برگ می‌تواند شاخصی برای نشان

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک‌ساله با دانه‌های روغنی از تیره آستره است و به دلیل تحمل نسبی به تنش کم‌آبی، می‌تواند یک جایگزین مناسب در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی در تناوب کشت با محصولاتی مانند گندم و جو باشد (Lovelli et al., 2007). مقدار روغن دانه آن حدود ۴۰ درصد است که به دلیل مطلوب بودن کیفیت روغن آن (بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه اسید لینولئیک) در سال‌های اخیر کشت آن در بسیاری از کشورهای دنیا مورد توجه بوده است. علاوه بر این یک گیاه کم‌توقع با سیستم ریشه‌ای عمیق است که این امر گسترش آن را در مناطقی از جهان که محدودیت‌های خاک و اقلیمی، باعث جلوگیری از کشت محصولات غذایی و مرسوم می‌شود، تسهیل می‌کند (Hussain et al., 2015). با این‌وجود، اطلاعات کمی در رابطه با گلرنگ در مقایسه با دیگر گیاهان روغنی به‌ویژه در ارتباط با تنش‌های محیطی موجود است (Oz, 2016).

مقاومت گیاهان به تنش کم‌آبی فرآیند مهم و پیچیده‌ای است چراکه برهمکنش‌های بین فاکتورهای تنش بسیار پیچیده است و همچنین باعث بروز پدیده‌های متنوع فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی می‌شود که بر فرآیند رشد و نمو گیاه مؤثر است و بنابراین شناخت آثار تنش کم‌آبی در گیاهان مهم به نظر می‌رسد (Hui-ping et al., 2012). زمانی که گیاهان با تنش کم‌آبی مواجه می‌شوند تغییرات فیزیولوژیکی و بیولوژیکی بی‌شماری در آن‌ها اتفاق می‌افتد. در زمان تنش آبی، گیاه با بستن روزنه‌ها، سعی بر حفظ رطوبت خود می‌نماید، این عمل باعث کاهش تبادلات گازی در برگ‌ها شده و منجر به تولید پراکسید هیدروژن و ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در بافت‌های گیاه می‌شود همچنین کاهش شدید عمل زنجیره الکترونی فتوسنتزی و افزایش تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها را به دنبال دارد (Navabpour et al., 2015). انواع اکسیژن‌های فعال از طریق آسیب‌های اکسیداتیو که به چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌ها وارد می‌کنند باعث تخریب متابولیسم‌های طبیعی می‌گردند (Salehi Shanjani et al., 2015).

کاروتنوئیدها شامل گزانتوفیل‌ها، بتاکاروتن و آنتی-اکسیدان‌های چربی‌دوست با وزن مولکولی کم در کلروپلاست

¹ Relative water content

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز در ۷ کیلومتری شهرستان داراب، با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای مطالعاتی شامل رژیم آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در ۳ سطح آبیاری مطلوب (گیاهان تا آخر فصل رشد بر اساس نیاز آبی گیاه آبیاری شدند)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (مرحله ۶۵ مطابق با کدبندی فلمر (Flemmer et al., 2015) و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (مرحله ۸۱ مطابق با کدبندی فلمر (Flemmer et al., 2015) و فاکتورهای فرعی شامل ۲ رقم گلرنگ به نام‌های گلدشت (زودرس، بدون خار، پاکوتاه، طبق بزرگ و مقاوم به خوابیدگی و ریزش) و محلی اصفهان (نسبتاً دیررس، پابلند، پر محصول، کمی خاردار) و سه تاریخ کاشت ۱۵ آذر، ۵ دی و ۲۵ دی بودند. پیش از اجرای آزمایش و برای اطلاع از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر شد (جدول ۱).

دادن مقاومت و پایداری داخلی گیاه به تنش باشد (Rashidi et al., 2012).

تاریخ کاشت مناسب یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در تولید گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطق دارای محدودیت‌های محیطی نظیر دمای بالا و محدودیت رطوبت در انتهای فصل رشد است. انتخاب تاریخ کاشت مناسب، امکان رشد و توسعه کافی گیاه جهت دستیابی به عملکرد مطلوب و همچنین قابلیت انعطاف‌پذیری در برابر اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی آخر فصل را فراهم می‌آورد (Salehi et al., 2019). تغییر در تاریخ کاشت، تغییر پارامترهای هواشناسی را به‌همراه دارد. نور خورشید، دما و دیگر عوامل هواشناسی به شکل منفرد یا همراه با هم بر رشد، نمو و تولید گیاه تأثیرگذار هستند. تاریخ کاشت مراحل فنولوژیکی گیاه و کل تولید زیست‌توده را کنترل می‌کند و در کارایی تبدیل زیست‌توده به عملکرد نقش مهمی ایفا می‌کند (Khichar and Niwas., 2006). پیامدهای نامطلوب تاریخ کاشت‌های زود هنگام و دیر هنگام بر رشد و عملکرد گیاهان دانه روغنی در مطالعات پیشین گزارش شده است (Safara, 2016)؛ بنابراین اجرای پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر میزان و فعالیت عوامل آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی و بهبود تحمل به کم‌آبی ارقام گلرنگ صورت گرفت.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of soil in experimental site

پی اچ	قابلیت هدایت الکتریکی	اشباع بازی	کربن الی	سیلت	رس	شن	عمق خاک
(pH)	EC	BS	O.C	Silt	Clay	Sand	Soil depth
	dS.m ⁻¹		%				cm
7.42	1.092	8.88	0.977	44	17.18	38.12	0-15
7.54	1.090	8.93	0.970	44	17.26	38.16	15-30
منگنز	روی	مس	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	عمق خاک
Mn	Zn	Cu	Fe	K	P	N	Soil depth
						%	cm
14.8	0.564	1.61	5.104	320	54	0.084	0-15
14.8	0.540	1.63	7.30	300	58	0.084	15-30

سطح زمین کشت شدند. فاصله‌ی بین تکرارها دو متر و فاصله‌ی بین کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. بذرها با استفاده از سم رورال تی‌اس به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند و کاشت به روش خشکه‌کاری و با دست انجام گرفت. وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به صورت دستی انجام گرفت. بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) کود اوره (۴۶ درصد

بعد از عملیات تهیه بستر کاشت که شامل شخم با گاوآهن برگردان دار، دیسک و لولر بود، اقدام به کرت‌بندی در ابعاد ۲ متر در ۳ متر شد. روش کاشت به صورت جوی و پشت‌ای (شیاری) بود و هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به طول سه متر و فاصله دو پشته ۵۰ سانتی‌متر بود. بذرها در فاصله پنج سانتی‌متری از یکدیگر روی ردیف و در عمق دو سانتی‌متر از

$$\text{Chlorophyll } b = (19.3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663})V/100W \quad [2]$$

$$\text{Carotenoid} = (100 \times A_{470}) - (3.27 \times \text{mg chl.a}) - (104 \text{ mg chl.b}) / 227 \quad [3]$$

که در این روابط، V حجم محلول صاف‌شده، A جذب نور در هر طول موج، W وزن تر نمونه برحسب گرم است.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز توسط روش ابی (Aebi., 1984) صورت گرفت. در یک کیووت کوارتز ۳ میلی‌لیتری مخلوط سه محلول (۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷، ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه با ۰/۲ میکرولیتر عصاره آنزیمی) ریخته شد و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (UV-160A) فعالیت آنزیم کاتالاز در طول موج ۲۴۰ نانومتر و در مدت‌زمان واکنش ۳۰ ثانیه برحسب واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر قرائت شد و میزان آن از رابطه ۴ به دست آمد.

$$\text{Catalase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times v_s \times FW} \quad [4]$$

که در این معادله، Δ تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۳۰ ثانیه جذب دوم را می‌خوانیم)، v حجم کل عصاره برگ (میلی‌لیتر)، vs حجم نمونه برداشت شده (میلی‌لیتر)، ϵ ضریب خاموشی ($\epsilon=39.4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)، FW وزن تر نمونه برگ برداشت‌شده (گرم) است.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز

مخلوط واکنشی شامل (۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم با pH=۷ همراه با ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و ۰/۲ میلی‌لیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار) برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز استفاده شد. در این روش در یک کیووت شیشه‌ای ۳ میلی‌لیتری مخلوط واکنش فوق به‌اضافه ۰/۲ میکرولیتر از عصاره آنزیمی ریخته شده و با قرار دادن در دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر و در مدت‌زمان واکنش ۶۰ ثانیه فعالیت آنزیم پراکسیداز اندازه‌گیری و ثبت شد (Abei., 1984) و درنهایت با استفاده از رابطه ۵ میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز محاسبه شد.

$$\text{Peroxidase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times v_s \times FW} \quad [5]$$

نیتروژن) طی سه مرحله (ابتدای جوانه‌زنی، ساقه روی و ابتدای تشکیل طبق) به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. در مرحله چهارم برگ‌ها با حذف بوته‌های اضافی تراکم ۴۰ بوته در هر مترمربع، حفظ گردید. میزان آب موردنیاز برای هر کرت بر اساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲۴/۵٪ وزنی) و به روش دانشمند و همکاران (Daneshmand et al., 2006) محاسبه شد. در این روش ابتدا قطعه زمینی به مساحت دو مترمربع مشخص شد و به شکل حوضچه در آمد. سپس این حوضچه به‌طور سنگین آبیاری شد و روی آن با پلاستیک پوشانده شد. پس از قطع آبیاری در فواصل زمانی هر ۱۲ ساعت یک‌بار از عمق صفر تا یک متری توسعه ریشه نمونه‌برداری کرده و مقدار رطوبت آن به روش وزنی اندازه‌گیری شد. آبیاری کرت‌ها تا مرحله گلدهی به‌طور یکسان و به‌صورت نشتی انجام شد سپس در مرحله گلدهی و پر شدن دانه‌ها قطع آبیاری اعمال گردید. مقدار حجم آب بکار رفته برای هر کرت به‌وسیله روش حجمی-زمانی و با استفاده از شیلنگ و کنتور حجمی صورت گرفت (Grimes et al., 1987). در مجموع مقدار آب مصرفی برای تیمار آبیاری مطلوب معادل ۴۹۹۳ مترمکعب در هکتار، برای تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی معادل ۳۱۲۰ مترمکعب در هکتار و برای تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه معادل ۴۴۹۱ مترمکعب در هکتار بود.

اندازه‌گیری فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی

استخراج و سنجش محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید مطابق روش آرنون (Arnon, 1967) انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد که به‌تدریج اضافه می‌شد، در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده شدند. عصاره به مدت ۱۵ دقیقه در سانتی‌فیوژ با دور ۶۰۰۰ در دقیقه رسوب داده شد. سپس ۳ میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با ۷ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب عصاره استخراج‌شده در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر مدل (UV-160A) ساخت شرکت شیمادزو کشور ژاپن قرائت شد. درنهایت با استفاده از روابط ۱ تا ۳ میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll } a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W \quad [1]$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری × تاریخ کاشت × رقم اثر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بر محتوای کلروفیل *a* و *b*، کاروتنوئید، فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، دمای سایه‌انداز داشت و محتوای نسبی آب در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌طور کلی نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده کاهش محتوای کلروفیل *a* و *b* در شرایط تنش آبی و کشت تاخیری بود. بیشترین میزان کلروفیل *a* و کلروفیل *b* مربوط به تیمار آبیاری مطلوب در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) در رقم گلدشت به ترتیب با میانگین 0.163 و 0.1156 میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (جدول ۳) که نسبت به تیمار قطع آبیاری در گلدشت در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) در رقم گلدشت به ترتیب $42/85$ و $21/15$ درصد افزایش نشان داد. گیاهان در زمان مواجه شدن با تنش آبی برای حفظ آب برگ، با بستن روزنه‌ها تعرق را کاهش می‌دهند و باعث کاهش میزان دی‌اکسید کربن در بافت مزوفیلی گیاه می‌شود، این وضعیت باعث اختلال در واکنش‌های تاریکی فتوسنتز شده و محصولات حاصل از واکنش‌های روشنایی مصرف نمی‌شوند. در نتیجه مولکول اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به‌عنوان پذیرنده جانشین الکترون عمل می‌کند و منجر به شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که در نهایت با افزایش تجزیه کلروفیل یا کاهش بیوسنتز آن مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد (Santosa, 2004) همچنین در سطوح بالای تنش آبی، به دلیل کاهش انتقال مواد معدنی و آب ضروری برگ‌ها در اثر کاهش مکش ناشی از تعرق در آوند چوبی و افزایش تنش اکسیداتیو ناشی از ROS در سلول‌های برگ و تجزیه رنگ‌دانه‌ها، شاهد کاهش رنگ‌دانه‌ها هستیم (Hosseinzadeh et al., 2016). کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی بر اثر ایجاد تنش در گلرنگ (Azad Bakht et al., 2017) و سایر گیاهان توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Hayat et al., 2010)؛ که با نتایج این پژوهش در یک راستا است. به نظر می‌رسد که پایداری کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند معیاری برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی باشد در کشت تاخیری، با قرار گرفتن کلروپلاست در معرض دمای بالا، اولین فرایندی که تحت تأثیر دمای بالا رخ می‌دهد اختلال در بیوسنتز کلروفیل است (Li et al., 2010). طبق نتایج این پژوهش محتوای کلروفیل *a* و *b* رقم گلدشت در تیمار آبیاری مطلوب، در تاریخ کاشت دوم (۵ دی) به

که در آن Δ نشان‌دهنده تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۶۰ ثانیه جذب دوم را می‌خوانیم)، v حجم کل عصاره برگ (میلی‌لیتر)، vs حجم نمونه برداشت‌شده (میلی‌لیتر)، ϵ ضریب خاموشی ($\epsilon=26.6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)، FW وزن تر نمونه برگ برداشت‌شده (گرم) است.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)

به‌منظور تعیین مقدار نسبی آب برگ به‌طور تصادفی از هر تیمار ۳ برگ انتخاب و جدا شد و با قرار دادن در کیسه پلاستیکی، بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه وزن تازه برگ‌ها تعیین و سپس به مدت ۱۸-۱۶ ساعت در درجه حرارت اتاق (۱۸-۲۰ درجه سانتی‌گراد) و در تاریکی قرار گرفت و متعاقب آن وزن آماس پس از حذف رطوبت سطح نمونه‌ها با قرار دادن آن‌ها در بین کاغذ خشک-کن، تعیین گردید پس از قرار گرفتن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد و در نهایت محتوای نسبی آب از معادله ۶ به دست آمد (Barrsu and Weatherley, 1962).

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad [6]$$

که در معادله بالا، DW وزن خشک، TW وزن آماس، FW وزن تازه و RWC محتوای نسبی آب برگ است.

اندازه‌گیری دمای سایه‌انداز گیاه با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز مدل لوترون (Lutron TM-958) پس اعمال تیمار قطع آبیاری در دو نوبت (دو روز قبل و دو روز بعد از اعمال تیمارهای قطع آبیاری)، در ساعت ۱۳ و از چهار نقطه‌ای هر کرت انجام شد (Balota et al., 2007). برای محاسبه عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه، در هنگام رسیدگی فیزیولوژیکی یک مترمربع از بوته‌های هر کرت آزمایشی، با حذف اثر حاشیه، از سطح خاک بریده شد و در آن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه قرار گرفت و وزن خشک بوته‌ها ثبت شد و سپس دانه‌ها جدا و توزین شدند.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری به کمک نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و شکل‌ها با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

بیشترین کاروتنوئید از تیمار قطع آبیاری در گلدهی در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) در رقم گلدشت حاصل شد که نسبت به آبیاری مطلوب ۱۰/۸۱ درصد افزایش داشت و با رقم محلی اصفهان اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). افزایش کاروتنوئیدها بر اثر تنش آبی ناشی از اثر دفاعی این رنگیزه‌ها است. با توجه به نقش کاروتنوئیدها در سیستم دفاع آنتی-اکسیدانی برای محافظت از رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کلروفیل، افزایش مقدار آن‌ها در شرایط تنش قابل‌انتظار است. افزایش مقدار کاروتنوئیدها تحت تنش آبی و افزایش آن در مرحله پر شدن دانه نشان‌دهنده نقش آن در تعدیل میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن است (Navabpour1 et al., 2015).

ترتیب ۲۲/۲۲ و ۲۶/۶۶ درصد نسبت به تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) کاهش داشت. مقدار کلروفیل در دمای بالا کاهش یافت (جدول ۳) این مطلب ناشی از تخریب سریع کلروفیل یا اختلال در بیوسنتز کلروفیل و یا ترکیبی از هر دو آن‌ها باشد (Li et al., 2010). گزارش‌های متعددی نشان می‌دهند، دمای بالا باعث کاهش بیوسنتز کلروفیل می‌گردد (Reda and Mandoura, 2011). کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش گرمایی توسط حسن‌پور و همکاران (Hassanpour et al., 2013) در پنج رقم گندم در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی نیز گزارش شده است.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده دو رقم گلرنگ در شرایط رژیم آبیاری و تاریخ کاشت

Table 2. Analysis of variance (Mean Square) of measured traits of two safflower cultivars under irrigation regime and planting date

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase
Replication (R)	تکرار	2	0.00116**	0.00101**	0.0001185 ^{ns}	0.13573**	0.21249**
Irrigation regime (I)	رژیم آبیاری	2	0.09122**	0.00197**	0.0108018**	0.95967**	2.14792**
Main Plot Error	خطای کرت اصلی	4	0.0000490	0.0000435	0.00065463	0.011412	0.031451
Planting date (D)	تاریخ کاشت	2	0.00536**	0.00086**	0.0017851*	1.21467**	0.52516**
Cultivar (C)	رقم	1	0.00006 ^{ns}	0.00036 ^{ns}	0.0146685**	0.16006**	0.27164**
I × D	رژیم آبیاری × تاریخ کاشت	4	0.01604**	0.00155**	0.0041879**	1.09795**	0.26176**
I × C	رژیم آبیاری × رقم	2	0.00215**	0.00094**	0.0023574**	0.04377**	0.04016 ^{ns}
D × C	تاریخ کاشت × رقم	2	0.00135**	0.00131**	0.0063629**	0.35475**	0.17520**
I × D × C	رژیم آبیاری × تاریخ کاشت × رقم	4	0.01281**	0.00079**	0.0044768**	0.23794**	0.10404**
R × (DC)	بلوک و کرت فرعی	10	0.00068**	0.00015**	0.0000023 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	0.00024 ^{ns}
Subplot Error	خطای کرت فرعی	20	0.0000375	0.00003615	0.000425	0.00734	0.018006
(CV%)	ضریب تغییرات		1.87	5.17	6.46	5.08	6.70

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب Relative water content	دمای سایه‌انداز Canopy temperature	عملکرد زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
Replication (R)	تکرار	2	0.5980 ^{ns}	15.0046 ^{**}	47496.30 ^{ns}	3272.222 ^{ns}
Irrigation regime (I)	رژیم آبیاری	2	339.0853 ^{**}	460.004 ^{**}	3105162.9 [*]	1382616 ^{**}
Main Plot Error	خطای کرت اصلی	4	0.83147	3.5879	1045118.5	847.222
Planting date(D)	تاریخ کاشت	2	2.8596 ^{ns}	36.2407 [*]	3347449 ^{**}	146405.5 ^{**}
Cultivar(C)	رقم	1	141.555 ^{**}	6.000 [*]	1363266 ^{ns}	378340.7 ^{**}
I × D	رژیم آبیاری × تاریخ کاشت	4	6.0207 [*]	16.0324 ^{**}	2634285.1 [*]	120605.5 ^{**}
I × C	رژیم آبیاری × رقم	2	0.88372 ^{ns}	3.7916 ^{ns}	12346200 ^{**}	68457.4 ^{**}
D × C	تاریخ کاشت × رقم	2	25.6368 ^{**}	19.0555 ^{**}	1150866.6 ^{ns}	120535.1 ^{**}
I × D × C	رژیم آبیاری × تاریخ کاشت × رقم	4	4.3926 [*]	8.7638 ^{**}	5007433 ^{**}	98551.8 ^{**}
R × (DC)	اثر متقابل بلوک و کرت فرعی	10	17.439 ^{**}	0.5697 ^{ns}	115471 ^{ns}	8356.03 ^{**}
Subplot Error	خطای کرت فرعی	20	0.76452	1.3819	736518.7	625.18
(CV%)	ضریب تغییرات		1.93	3.01	8.14	8.27

ns, * و ** به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار و اثر معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels

(جدول ۳). تحت تنش آبی که روزنه‌ها بسته می‌شوند انرژی داخلی برگ‌ها افزایش یافته و به دنبال آن رادیکال‌های آزاد اکسیژن تشکیل و سبب پراکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها می‌گردد. در چنین شرایطی آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز و پراکسیداز به‌عنوان آنزیم‌های اکسیداتیو فعال‌تر می‌شوند (Sirousmehr et al., 2014). مطابق با نتایج این پژوهش، فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر تنش آبی در گلرنگ افزایش می‌یابد (Taheri et al., 2017). فعالیت آنزیم کاتالاز در تاریخ کاشت تأخیری سوم (۲۵ دی) به میزان ۲۴/۱۳ درصد نسبت به تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) کاهش معنی‌دار داشت. کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز با مواجه‌شدن گیاه با تنش دمایی آخر فصل در اثر کاشت تأخیری توسط صالحی و همکاران (Salehi et al., 2019) در بررسی چهار رقم گلرنگ در سه تاریخ کاشت گزارش شد، با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

افزایش محتوای کاروتنوئید جهت مقابله با تنش آبی در گلرنگ (Azadbakht et al., 2017) و گندم (Abdalla and El-Khoshiban., 2007) گزارش شده است. همچنین کاهش مقدار کلروفیل‌ها در شرایط تنش آبی در گندم گزارش شده است (Abdalla and El-Khoshiban., 2007). در شرایط تنش آبی مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. بیشترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین ۲/۸۳ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر مربوط به تیمار قطع آبیاری در گلدهی در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) در رقم محلی اصفهان بود که نسبت به تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) در رقم محلی اصفهان در آبیاری مطلوب ۳۶/۳۹ درصد افزایش داشت. همچنین میزان این آنزیم در قطع آبیاری در پر شدن دانه در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) در رقم محلی اصفهان نیز ۱۴/۲۸ درصد نسبت به همین تیمار در آبیاری مطلوب افزایش داشت

شدن روزنه‌ها در شرایط تنش آبی و کاهش ظرفیت انتقال الکترون فتوسنتزی و به دنبال آن تجمع الکترون‌ها و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن نظیر پراکسید هیدروژن منجر به تخریب غشای سلول، سیستم فتوسنتزی و اکسیداسیون بسیاری از ترکیبات حیاتی گیاهان می‌شود (Rahbarian et al., 2012). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر پراکسیداز، اولین سد دفاعی در مقابله با افزایش گونه‌های واکنش‌دهنده اکسیژن در سلول‌های گیاهان است (Gunes et al., 2006). افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر تنش آبی در گلرنگ (Hassanpour et al., 2013) با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

با تشدید تنش آبی فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت، در مقابل فعالیت آنزیم پراکسیداز در تاریخ کاشت تأخیری به میزان ۱۶/۱۱ درصد نسبت به تاریخ کاشت اول کاهش یافت که می‌تواند به خاطر کاهش مقدار کلروفیل و عملکرد زیست‌توده در کشت تأخیری نسبت به تاریخ کاشت اول باشد که در نهایت آنزیم پراکسیداز کمتری در کشت تأخیری مشاهده گردید (جدول ۳).

بیشترین مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار قطع آبیاری در گلدهی در تاریخ کاشت دوم (۵ دی) در رقم محلی اصفهان با میانگین ۲/۷۰ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر بود که نسبت به آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در پر شدن دانه به ترتیب ۵۰ و ۴۴/۸۱ درصد افزایش داشت. با بسته

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات گیاهی دو رقم گلرنگ در شرایط رژیم آبیاری و تاریخ کاشت

Table 3. Mean comparison of plant traits in two safflower cultivars under irrigation regime conditions and planting date

رژیم آبیاری Irrigation regime	تاریخ کاشت Planting date	Cultivars	ارقام	محتوای کاروتنوئید		
				a محتوای کلروفیل Chlorophyll a content	b محتوای کلروفیل Chlorophyll b content	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content
				-----mg. g ⁻¹ Fw-----		
آبیاری مطلوب Normal irrigation	۱۵ آذر (6 Dec)	Goldasht	گلدشت	0.63 ^a	0.15 ^a	0.33 ^{abc}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.57 ^c	0.10 ^{ghi}	0.20 ^g
	۵ دی (26 Dec)	Goldasht	گلدشت	0.49 ^f	0.11 ^{efg}	0.32 ^{bcd}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.56 ^c	0.13 ^{cd}	0.34 ^{abc}
	۲۵ دی (15 Jan)	Goldasht	گلدشت	0.53 ^d	0.13 ^{bc}	0.27 ^{ef}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.59 ^b	0.14 ^{ab}	0.31 ^{cde}
قطع آبیاری در گلدهی Cutting of irrigation at flowering	۱۵ آذر (6 Dec)	Goldasht	گلدشت	0.36 ^j	0.12 ^{def}	0.37 ^a
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.38 ⁱ	0.12 ^{de}	0.37 ^a
	۵ دی (26 Dec)	Goldasht	گلدشت	0.53 ^d	0.11 ^{fgh}	0.33 ^{abc}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.41 ^h	0.11 ^{ef}	0.33 ^{abc}
	۲۵ دی (15 Jan)	Goldasht	گلدشت	0.40 ^h	0.08 ^j	0.35 ^{abc}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.44 ^g	0.11 ^{efg}	0.31 ^{cde}
قطع آبیاری در پر شدن دانه Cutting of irrigation at seed filling	۱۵ آذر (6 Dec)	Goldasht	گلدشت	0.56 ^c	0.11 ^{fgh}	0.34 ^{abc}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.54 ^d	0.12 ^{def}	0.26 ^f
	۵ دی (26 Dec)	Goldasht	گلدشت	0.51 ^e	0.12 ^{def}	0.34 ^{abc}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.59 ^b	0.15 ^a	0.32 ^{bcd}
	۲۵ دی (15 Jan)	Goldasht	گلدشت	0.50 ^{ef}	0.09 ^{ij}	0.36 ^{ab}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	0.43 ^g	0.10 ^{hi}	0.28 ^{def}
LSD				0.01167	0.01111	0.04130

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

رژیم آبیاری Irrigation regime	تاریخ کاشت Planting date	Cultivars	ارقام	عملکرد		عملکرد دانه Seed yield	
				کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase		
				U.min ⁻¹ .g ⁻¹ .Fw		-----kg. ha ⁻¹ -----	
آبیاری مطلوب Normal irrigation	۱۵ آذر (6 Dec)	Goldasht	گلدشت	1.44 ^{hi}	1.93 ^d	8766.6 ^{d-h}	1350 ^e
		Local Isfahan	محلی اصفهان	1.80 ^g	1.54 ^{ghi}	12566.6 ^a	1390 ^e
	۵ دی (26 Dec)	Goldasht	گلدشت	1.20 ^{jk}	1.59 ^{f-i}	9700 ^{bcd}	1390 ^e
		Local Isfahan	محلی اصفهان	1.09 ^k	1.35 ⁱ	10300 ^{bcd}	1650 ^a
	۲۵ دی (15 Jan)	Goldasht	گلدشت	1.84 ^{fg}	1.65 ^{e-h}	7653.3 ^{ghi}	1370 ^e
		Local Isfahan	محلی اصفهان	1.99 ^{def}	1.78 ^{d-g}	7700 ^{f-i}	940 ^g
قطع آبیاری در گلدهی Cutting of irrigation at flowering	۱۵ آذر (6 Dec)	Goldasht	گلدشت	2.17 ^{bc}	2.69 ^a	11333 ^{ab}	933.33 ^g
		Local Isfahan	محلی اصفهان	2.83 ^a	2.34 ^b	9000 ^{d-g}	820 ^h
	۵ دی (26 Dec)	Goldasht	گلدشت	2.24 ^b	2.29 ^{bc}	9486 ^{cde}	1070 ^f
		Local Isfahan	محلی اصفهان	1.90 ^{efg}	2.70 ^a	8866 ^{d-g}	786.66 ^h
	۲۵ دی (15 Jan)	Goldasht	گلدشت	1.59 ^h	2.03 ^{cd}	6153.3 ⁱ	930 ^g
		Local Isfahan	محلی اصفهان	1.27 ^{ij}	1.85 ^{def}	7133.3 ^{hi}	820 ^h
قطع آبیاری در پر شدن دانه Cutting of irrigation at seed filling	۱۵ آذر (6 Dec)	Goldasht	گلدشت	1.88 ^{efg}	2.23 ^{bc}	10900 ^{abc}	1580 ^{bc}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	2.10 ^{bcd}	1.93 ^d	9566.6 ^{cde}	1610 ^{ab}
	۵ دی (26 Dec)	Goldasht	گلدشت	1.43 ^{hi}	1.91 ^{de}	10300 ^{bcd}	1500 ^d
		Local Isfahan	محلی اصفهان	2.02 ^{cde}	1.88 ^{de}	7633.3 ^{ghi}	1080 ^f
	۲۵ دی (15 Jan)	Goldasht	گلدشت	1.40 ⁱ	1.81 ^{d-g}	9333.3 ^{c-f}	1540 ^{cd}
		Local Isfahan	محلی اصفهان	1.17 ^{jk}	1.49 ^{hi}	8000 ^{e-h}	1060 ^f
LSD				0.1723	0.2797	1679	48.76

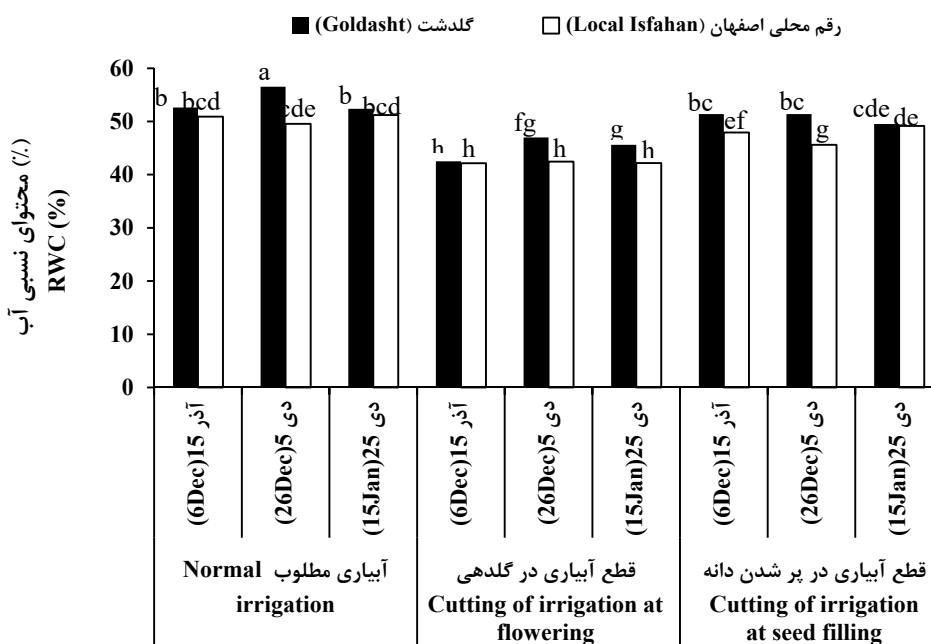
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters based on LSD test showed no significant difference at 5% probability level.

مانع تقسیم سلولی، رشد اندام‌های گیاهی، فتوسنتز خالص و سنتز پروتئین شده و تعادل هورمونی بافت‌های اساسی گیاه را تغییر می‌دهد (Lin and Kao, 2001). اسماعیلی منزه و همکاران (Esmaili Monza et al., 2013) در بررسی ژنوتیپ‌های گلرنگ و آروین و همکاران (Arvin et al., 2017) نیز در ارقام کلزا تحت تنش آبی، کاهش محتوای نسبی آب برگ را گزارش کردند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

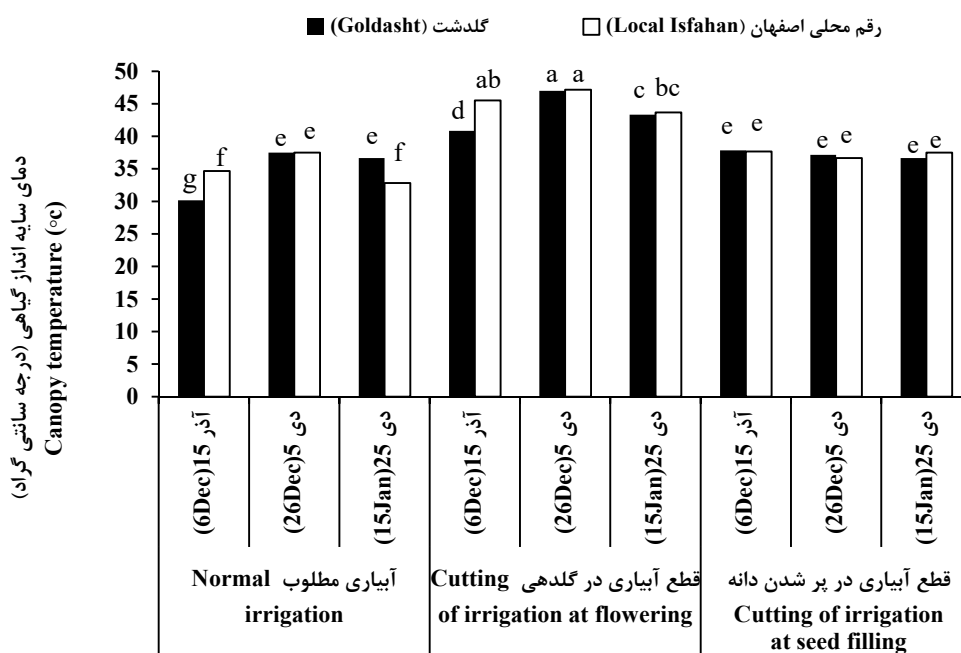
بیشترین مقدار دمای سایه‌انداز گیاه در شرایط قطع آبیاری در گلدهی در تاریخ کاشت دوم (۵ دی) در رقم محلی اصفهان (۴۷/۱۶ درجه سانتی‌گراد) بود که نسبت به آبیاری مطلوب ۲۰/۴۸ درصد افزایش داشت (شکل ۲).

قطع آبیاری در گلدهی باعث کاهش ۱۶/۳۶ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به آبیاری مطلوب شد و کمترین میزان این صفت در تیمار قطع آبیاری در گلدهی مربوط به تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) و رقم محلی اصفهان به میزان ۴۲/۱۴ درصد بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش آبی و کاهش درصد رطوبت خاک، پتانسیل آب برگ و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ و به تبع آن هدایت روزنه‌ای و در نهایت ورود دی‌اکسید کربن به داخل برگ کاهش می‌یابد. کاهش هدایت روزنه‌ای ناشی از تغییر محتوای آب نسبی بیانگر آن است که احتمالاً عامل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، سیگنال‌های ارسالی از ریشه در شرایط تنش آبی است (Zhou et al., 2017). در کل کاهش محتوای نسبی آب در فعالیت‌های حیاتی گیاه اختلال ایجاد کرده و



شکل ۱. اثر متقابل رژیم آبیاری، تاریخ کاشت و رقم بر محتوای نسبی آب برگ گلرنگ. (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Fig. 1. Interaction effect of irrigation regime, planting date and cultivar on safflower Leaf relative water content (RWC). (Means with similar letters are not significantly different based on LSD test at 1% probability levels).



شکل ۲. اثر متقابل رژیم آبیاری، تاریخ کاشت و رقم بر دمای سایه‌انداز گلرنگ. (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Fig. 2. Interaction effect of irrigation regime, planting date and cultivar on canopy temperature of safflower. (Means with similar letters are not significantly different based on LSD test at 1% probability levels).

کمتری برای فتوسنتز و تولید ماده خشک داشته است و بنابراین با تولید کمتر اندام رویشی در گیاه، عملکرد زیست توده نیز کاهش می یابد (Garsid, 2004). یافته های صف آرا و همکاران (Safara et al., 2016) نیز نشان دهنده کاهش عملکرد زیست توده در اثر تأخیر در کاشت بود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم محلی اصفهان در تیمار آبیاری مطلوب و تاریخ کاشت دوم (۵ دی)، با میانگین ۱۶۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به تنش آبی در گلدهی در تاریخ کاشت دوم (۵ دی)، ۵۲/۳۲ درصد افزایش داشت. همچنین کمترین عملکرد دانه با میانگین ۷۸۶/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم محلی اصفهان در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در تاریخ کاشت دوم (۵ دی) بود که با عملکرد دانه در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) و سوم (۲۵ دی) اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۳). به نظر می رسد تنش آبی در مرحله گلدهی منجر به کوچک شدن سطح برگ، تسریع پیری، کاهش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول و کاهش طول دوره پر شدن دانه گردیده و در نتیجه تجمع ماده خشک و عملکرد دانه در این مرحله کاهش پیدا می کند. تنش آبی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه ها و افت فتوسنتز از یک سو و اثر بر فعالیت های آنزیمی و فرآیندهای مربوط از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه به عنوان جزئی از عملکرد بیولوژیک می شود (Farrokhanian et al., 2011). شرایط تنش آبی توسط محتشمی و همکاران (Mohtashami et al., 2018) نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

در این مطالعه در تاریخ کاشت سوم (۲۵ دی) کمترین عملکرد نسبت به دو تاریخ کاشت دیگر (۱۵ آذر و ۵ دی) در هر سه تیمار آبیاری مشاهده شد. به نظر می رسد با تأخیر در کاشت، دمای هوا و طول روز افزایش یافته و نمو گیاه تسریع می یابد، بنابراین فرصت کافی برای رشد رویشی، تولید مواد فتوسنتزی و پر شدن دانه ها وجود نداشته و با همزمانی گرده افشانی گیاه با دمای بالا، اجزای عملکرد دانه نیز کاهش می یابد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می گردد. کاهش عملکرد دانه در اثر تأخیر در کاشت توسط صف آرا و همکاران (Safara et al., 2016) و مراد بیگی و همکاران (Moradbeigi et al., 2019) نیز گزارش شده است که نتایج این پژوهش با یافته های محققین ذکر شده مطابقت

تعلق سازوکار خنک کننده ای در گیاه دارد به طوری که روزنه ها در شرایط رطوبتی مطلوب باز هستند و همزمان فتوسنتز و تعرق انجام می شود. این امر سبب خنک شدن گیاه و تولید ماده خشک می گردد، در شرایط محدودیت آب، گیاه با بستن روزنه های خود آب کمتری از طریق تعرق از دست می دهد و دمای گیاه افزایش می یابد. در چنین شرایطی میزان فتوسنتز گیاه کاهش می یابد و در بسیاری از آزمایش ها نیز رابطه منفی بین عملکرد و دمای سایه انداز گیاهی مشاهده شده است (Wen-zhong et al., 2007). افزایش دمای سایه انداز گیاهی در اثر تنش آبی توسط بولتا و همکاران (Balota et al., 2007) نیز گزارش شده که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری × تاریخ کاشت × رقم تأثیر معنی دار ($P \leq 0/01$) بر عملکرد زیست توده و عملکرد دانه داشت (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد زیست توده در شرایط آبیاری مطلوب در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) در رقم گلدهی با میانگین ۱۲۵۶۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به قطع آبیاری در گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب ۲۸/۳۷ و ۲۳/۸۷ درصد افزایش داشت (جدول ۳). تنش کم آبی اثرات مستقیم و غیرمستقیمی مانند بسته شدن روزنه ها، کاهش تورژانس، کاهش سطح فتوسنتز کننده بر گیاه دارد. با توجه به اینکه عملکرد زیست توده نشان دهنده ی ظرفیت گیاه در جذب نور و تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی است بنابراین کاهش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه ای و همچنین مقدار کلروفیل کم تر در شرایط تنش می تواند منجر به کاهش تولید زیست توده شود (Liu et al., 2004). کاهش عملکرد زیست توده در شرایط تنش آبی توسط شاو و تاکور (Sahu and Thakur, 2016) نیز گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر در یک راستا است. به طور کلی تأخیر در کاشت موجب کاهش عملکرد زیست توده شده است. نتایج این پژوهش در آبیاری مطلوب حاکی از کاهش عملکرد زیست توده در رقم گلدهی و محلی اصفهان در تاریخ کاشت سوم (۲۵ دی) نسبت به تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) به ترتیب به میزان ۱۲/۶۹ و ۳۷/۷۲ درصد بود. عملکرد زیست توده برآیند فتوسنتز گیاه بوده و نشان می دهد که گیاه توانایی استفاده از منابع موجود را با کارایی مطلوبی داشته است. افزایش درجه حرارت در تاریخ کاشت تأخیری سوم، باعث کوتاه شدن دوره رشد گیاه شده و در نتیجه گیاه فرصت

کاشت تأخیری سوم (۲۵ دی) باعث کاهش میزان همه صفات عنوان شده به جز محتوای کاروتنوئید، محتوای نسبی آب و دمای سایه‌انداز شد و ارقام مورد مطالعه نیز در بررسی صفات اندازه‌گیری عکس‌العمل متفاوتی بروز دادند. بیشترین میانگین عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب در تاریخ کاشت دوم (۵ دی) و رقم محلی اصفهان به دست آمد که نسبت به تیمار قطع آبیاری در گلدهی ۵۲/۳۲ درصد افزایش داشت. به نظر می‌رسد که گیاه در شرایط قطع آبیاری در پر شدن دانه، قادر به جبران بیشتر کاهش عملکرد نسبت به تنش آبی در گلدهی، از طریق افزایش فعالیت‌های بیوشیمیایی و آنزیمی گیاه بوده است؛ بنابراین در شرایط تنش آبی آخر فصل در مناطق نیمه‌خشک انتخاب تاریخ کاشت بهینه (۵ دی) و رقم زودرس گلدهت با ۱۲/۹۱ درصد عملکرد بیشتر، می‌تواند راهکاری مناسب در بهبود و افزایش عملکرد دانه گلرنگ باشد.

داشت. همچنین نتایج این پژوهش با مطالعه پاسبان اسلام (Pasban Eslam, 2018) مبنی بر وجود تفاوت‌های معنی‌دار عملکرد دانه در واحد سطح بین ژنوتیپ‌های گلرنگ در یک راستا بود.

نتیجه‌گیری نهایی

تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان است و گیاهان برای کاهش اثرات منفی آن، با ایجاد مکانیسم‌های متنوع و از طریق تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی به تنش پاسخ می‌دهند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تنش آبی در گلدهی باعث کاهش محتوای کلروفیل a و b، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه ارقام گلرنگ شد درحالی‌که محتوای کاروتنوئید، آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و دمای سایه‌انداز را افزایش داد. همچنین تاریخ

منابع

- Abdalla, M.M., El-Khoshiban, N.H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Science Research*. 3, 2062-2074.
- Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*. 105, 121-126.
- Akbari, S., Kafi, M., Rezvan Beidokhti, S., 2016. The effects of drought stress on yield, yield components and antioxidant of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes with different planting densities. *Journal of Agroecology*. 1, 95-106. [In Persian with English Summary].
- Amini, Z., Haddad, R., 2012. Role of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress. *Journal of Cellular and Molecular Research (Iran Biology Journal)*. 3, 251-265. [In Persian with English Summary].
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*. 23, 112-121.
- Arvin, P., Vafabakhsh, J., Mazaheri, D., 2017. Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp. L.). *Journal of Agroecology*. 4, 1208-1226. [In Persian with English Summary].
- Azad Bakht, F., Ahmadi, K., Omid, H., 2017. Effect of late season drought stress on seed germination indices and photosynthetic pigments of native root genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) safflower. *Crop Physiology*. 32, 75-90. [In Persian with English Summary].
- Balota, M., Payne, W.A., Evett, S.R., Lazar, M.D., 2007. Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat. *Crop Science Journal*. 47, 1518-1529.
- Barrsu, H.D., Weatherley, P.E., 1962. Re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Science*. 15, 413-4280.
- Blum, A., 2011. *Plant breeding for water-limited environments*. Springer Pub. 254 pp.
- Daneshmand, A.R., Shirani Rad, A.H., Ardakani, M.R., 2006. Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Journal of Agriculture Science*. 1, 48-60.
- Esmaili Monza, A., Omid, H., Bastani, A.A., 2013. Influence of drought stress on yield and yield components, proline, photosynthetic pigments and leaf relative water of several safflower genotypes. *Journal of Water Research in Agriculture*. 2, 187-196. [In Persian with English Summary].
- Farrokhanian, M., Rushdie, M., Pasban Eslam, B., Sasandoost, R., 2011. Investigation of some physiological characteristics and spring

- safflower yield under water deficit stress. *Journal of Crop Sciences*, 42, 545-553. [In Persian with English Summary].
- Flemmer, A.C., Franchini, M.C., Lindstrom, L.I., 2015. Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 166, 331-339.
- Garsid, A., 2004. Sowing time effects on the development, yield and oil of flaxseed in semi-arid tropical. *Australian Journal of Production in Agriculture*. 23, 607-612.
- Grimes, D., Yamada, H., Hughes, S., 1987. Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. *Agricultural Water Management* 12, 293-304.
- Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E., Guzelordu, T., 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant, Soil and Environment*. 52, 868-876.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Roychowdhury, R., Fujita, M., 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 5, 9643-9684.
- Hassanpour Lescokelaye, K., Ahmadi, J., Daneshyan, J., Hatami, S., 2013. Changes in chlorophyll, protein and antioxidant enzymes on durum wheat under drought stress. *Journal of Crop Breeding*. 15, 76-87. [In Persian with English Summary].
- Hayat, S., Hayat, Q., Irfan, M., Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*. 1, 14-25.
- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., Ismaili, A., 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*. 54, 87-92. [In Persian with English Summary].
- Hui-Ping, D., Chan-juan, Sh., An-Zhi, W., Tuxi, Y., 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail (*Setaria italica* L.) varieties exposed to drought conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 2, 232-237.
- Hussain, M.I., Dionyssia-Angeliki, L., Farooq, M., Nikoloudakis, N., Khalid, N., 2015. Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agricultural Sustainable Development*. 36, 1-31.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal Agriculture Biology*. 11, 100-105.
- Karimzadeh Soureshjani, H., Emam, Y., Moori, S., 2013. Effect of post-anthesis drought stress on yield, yield components and canopy temperature of bread wheat cultivars. *Journal of Plant Process and Function*. 1, 38-56. [In Persian with English Summary].
- Khichar, M.L., Niwas, R., 2006. Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. *Journal Agronomy*. 8, 201-209.
- Li, T., Zhang, Y., Liu, H., 2010. Stable expression of Arabidopsis vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene AtNHX1 and salt tolerance in transgenic soybean for over six generations. *Chinese Science*. 55, 1127-1134.
- Lin, C.C., Kao, C.H., 2006. Abscisic acid induced changes in cell wall peroxidase activity and hydrogen peroxide level in roots of rice seedlings. *Plant Science*. 2, 323-329.
- Liu, F., Andersen, M.N., Jensen, C.R., 2004. Root signal controls pod growth in drought stressed soybean during the critical, abortionsensitive phase of pod development. *Field Crop Research*. 85, 159-166. DOI: 10.1016/S0378-4290(03)00164-3
- Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., Di Tommaso, T., 2007. Yield response factor to water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agriculture Water Management*. 92, 73-80.
- Mohtashami, F., Tadayon, M.R., Roshandel, R., 2018. Evaluation of the effect of deficit irrigation regimes on grain yield and yield components of safflower genotypes. *Journal of Agricultural Crops Production*. 2, 547-561.
- Moradbeigi, L., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., Abbasdokht, H., Asghari, H.R., 2019. Effect of Drought Stress and Delay Cultivation on Grain Yield, Oil Yield and Fatty Acids Composition in Canola. *Journal Agricultural science and Sustainable Production*. 2, 136-151. [In Persian with English Summary].

- Navabpour, S., Ramezani, S.S., Mazandarani, A., 2015. Evaluation of enzymatic and non enzymatic defense mechanism in response to drought stress during growth stage in soybean. *Technology of Crops Productions*. 2, 39-52. [In Persian with English Summary].
- Oz, M., 2016. Relationship between sowing time, variety, and quality in safflower. *Journal of Chemistry* 23, 94-103.
- Pasban Eslam, B., 2018. Effect of planting date on reducing growth period of spring safflower cultivars in Tabriz cold and semi-arid climate. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 4, 851-860. [In Persian with English Summary].
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., Najafi, F., Roshanfekar, M., 2012. Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in Chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 7, 5372-5380. [In Persian with English Summary].
- Rashidi, S.H., Shirani Rad, A.M., Ayene Band, A., Javidfar, F., Lak, S.H., 2012. Study of relationship between drought stress tolerances with some physiological parameters in canola genotypes *Brassica napus* L. *Annals of Biological Research*. 1, 564-569. [In Persian with English Summary].
- Reda, F., Mandoura, H.M.H., 2011. Response of enzymes activities, photosynthetic pigments, proline to low or high temperature stressed wheat plant in the presence or absence of exogenous proline or cysteine. *International Journal Academic Research*. 3, 108-115.
- Royo, C., Villegas, D., Garcia del Moral, L.F., Elhani, S., Aparicio, N., Rharrabti, Y., Araus, J.L., 2002. Comparative performance of carbon isotope discrimination and canopy temperature depression as predictors of genotypes differences in durum wheat yield in Spain. *Australian Journal of Agricultural Research*. 53, 561-569.
- Safara, N., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., Koochakzadeh, A., Mousavi, S.H., 2016. Effect of sowing date and sulfur on yield, oil content and grain nitrogen of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in autumn cultivation. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 3, 438-448. [In Persian with English Summary].
- Sahu, J., Thakur, N.S., 2016. Response of date of sowing on yield and yield attributes of safflower cultivars. *An International Quarterly Journal of life Sciences*. 1, 503-507.
- Salehi Shanjani P., Izadpanah M., Falah Hoseini L., Ramezani Yeganeh M., Rasoulzadeh L., Kavandi A., Sardabi F., Pahlevani M.R., Amirkhani M., Seyedian S.E., 2015. Comparison of the effects of drought stress on pigments, peroxidase, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in different accessions of *Anthemis tinctoria* and *Tripleurospermum servanes* of natural resources gene bank of Iran. *Journal of Crops Research (Iranian Journal of Biology)*. 1, 126-139. [In Persian with English Summary].
- Salehi, F., Rahnama Ghahfarokhi, A., Meskarbashe, M., Mehdikhanlou, K., 2019. Effect of terminal heat stress on some agronomic, physiological and oil yield traits of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under Ahvaz conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 3, 491-502. [In Persian with English Summary].
- Santosa, C., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*. 103, 93-99.
- Sirous Mehr, A., Bardel, J., Mohammadi, S., 2014. Changes of germination properties, photosynthetic pigments and anti oxidant enzymes activity of safflower as affected by drought and salinity stresses. *Journal of Crop Ecophysiology*. 4, 517 -534. [In Persian with English Summary].
- Taheri, S.H., Gholami, A., Abbasdokht, H., Makarian, H., 2017. Alleviation of water deficit stress effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by seed priming. *Journal of Agricultural Crops Production*. 2, 478-502. [In Persian with English Summary].
- Wen-zhong, Z., Ya-dong, H., Hong-juan, D., 2007. Relationship between canopy temperature at flowering stage and soil water content, yield components in rice. *Rice Science*. 1, 67-70.
- Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C.O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., Wu, Z., 2017. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology*. 17, 24-33.